

高考实验试题探究点的诠释

湖北省郧西县第一中学 (442600) 陈世华 康嘉钊

高中化学新课程标准要求学生“具有较强的问题意识,能够发现和提出有探究价值的化学问题”,通过“经历对化学物质及其变化进行探究的过程,进一步理解科学探究的意义,学习科学探究的基本方法,提高科学探究能力”。从近三年新课标化学卷实验试题分析,不难发现试题对科学探究能力提出了较多要求。本文通过对2010年高考实验试题部分探究点的分析,从中找出一一般规律:

一、以物质性质为探究点,考查实验现象描述、物质性质判断、简述实验设计

例1 某化学兴趣小组为探究SO₂的性质,按图1所示装置进行实验。

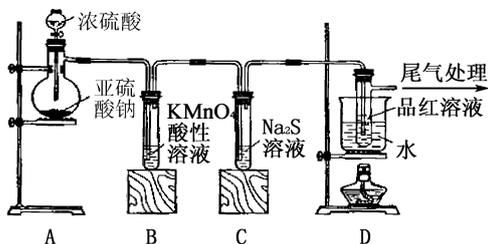


图1

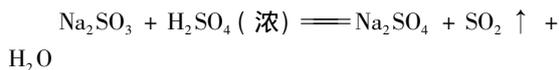
请回答下列问题:

- (1) 装置A中盛放亚硫酸钠的仪器名称是____,其中发生反应的化学方程式为____;
- (2) 实验过程中,装置B、C中发生的现象分别是____、____,这些现象分别说明SO₂具有的性质是____和____;装置B中发生反应的离子方程式为____;
- (3) 装置D的目的是探究SO₂与品红作用的可逆性,请写出实验操作及现象____;
- (4) 尾气可采用____溶液吸收。

解析 本题涉及制备二氧化硫,以及二氧化硫与酸性高锰酸钾溶液反应、与硫化钠反应,并检验二氧化硫,探究二氧化硫的漂白性是暂时的。(1)装置A中盛装亚硫酸钠的仪器是烧瓶,硫酸与亚硫酸钠反应生成硫酸钠、二氧化硫和水。(2)B装置: $5\text{SO}_2 + 2\text{KMnO}_4 + 2\text{H}_2\text{O} = \text{K}_2\text{SO}_4 + 2\text{MnSO}_4 + 2\text{H}_2\text{SO}_4$ 二氧化硫表现还原性; C装置: 二氧化硫与硫化钠发生归中反应: $\text{SO}_2 + 2\text{Na}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} = 3\text{S} \downarrow + 4\text{NaOH}$, 二氧化硫表现氧化性。B装置里现象是紫色褪去或

紫红色变浅, C装置里现象是产生浅黄色沉淀或溶液变浑浊。(3) 二氧化硫使品红褪色,加热烧杯,溶液变红色。(4) 尾气中含有二氧化硫,用氢氧化钠溶液等吸收。

答案: (1) 烧瓶或蒸馏烧瓶



(2) 紫红色褪去 溶液变浑浊 还原性、氧化性 $5\text{SO}_2 + 2\text{MnO}_4^- + 2\text{H}_2\text{O} = 5\text{SO}_4^{2-} + 2\text{Mn}^{2+} + 4\text{H}^+$

(3) 向品红溶液中通入二氧化硫,品红溶液褪色;点燃酒精灯,加热烧杯,试管里无色溶液变红色

(4) 氢氧化钠等碱溶液

诠释 选择物质性质为探究点,主要探究物质的氧化性与还原性、酸性与碱性、稳定性等,通常联系实验试剂选择、实验现象等,根据反应现象确定物质性质,或根据性质预测实验现象等。

二、以反应产物为探究点,考查实验现象观察与分析、气体检验

例2 图2是一个用铂丝作电极,电解稀的MgSO₄溶液的装置,电解液中加入有中性红色指示剂,此时溶液呈红色。(指示剂的pH变色范围: 6.8~8.0 酸性-红色 碱性-黄色)

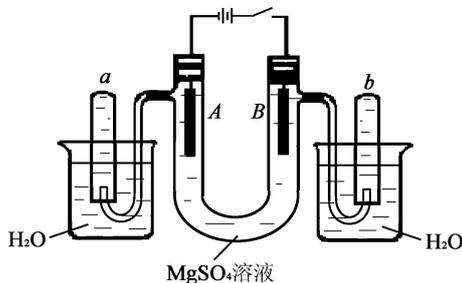


图2

回答下列问题:

- (1) 下列关于电解过程中电极附近溶液颜色变化的叙述正确的是____(填编号);
①A管溶液由红变黄; ②B管溶液由红变黄;
③A管溶液不变色; ④B管溶液不变色;
- (2) 写出A管中发生反应的反应式:____;

(3) 写出 B 管中发生反应的方程式: _____;

(4) 检验 a 管中气体的方法是 _____;

(5) 检验 b 管中气体的方法是 _____;

(6) 电解一段时间后,切断电源,将电解液倒入烧杯内观察到的现象是 _____.

解析 本题以电解硫酸镁溶液产物为探究点,切入点是根据电极反应式分析问题.硫酸镁溶液中存在离子和分子有: H^+ 、 Mg^{2+} 、 OH^- 、 SO_4^{2-} 、 H_2O 等.

(1) A 为阴极,发生还原反应: $2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2 \uparrow$, $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$, H^+ 反应,促进水电离, A 极附近溶液中 OH^- 浓度增大,呈碱性,溶液变黄色; B 极为阳极,发生氧化反应: $4OH^- - 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O + O_2 \uparrow$, $H_2O \rightleftharpoons H^+ + OH^-$, OH^- 参与电极反应,促进水电离平衡向生成 H^+ 方向移动, B 极附近溶液呈酸性,溶液仍呈红色. (2) A 极反应式有两种写法: H^+ 或 H_2O 发生还原反应; OH^- 浓度增大,发生沉淀反应: $Mg^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Mg(OH)_2 \downarrow$. (3) B 极发生氧化反应,可以写 OH^- 或 H_2O 发生氧化反应生成氧气. (4) a 管气体是氢气; (5) b 管气体是氧气. (6) 将电解液倒入烧杯,相当于将左右两边溶液混合,发生电解反应: $2H_2O \xrightarrow{\text{通电}} 2H_2 \uparrow + O_2 \uparrow$, 充分混合溶液呈弱酸性(硫酸镁是强酸弱碱盐),观察到现象是,白色沉淀溶解、溶液呈红色.

答案 (1) ① ④

(2) $2H^+ + 2e^- \rightleftharpoons H_2 \uparrow$ (写 $2H_2O + 2e^- \rightleftharpoons 2OH^- + H_2 \uparrow$ 同样给分)

$Mg^{2+} + 2OH^- \rightleftharpoons Mg(OH)_2 \downarrow$

(3) $4OH^- - 4e^- \rightleftharpoons 2H_2O + O_2 \uparrow$ (写 $2H_2O - 4e^- \rightleftharpoons 4H^+ + O_2 \uparrow$ 同样给分)

(4) 用拇指按住管口,取出试管,靠近火焰,放开拇指,有爆鸣声,管口有蓝色火焰

(5) 用拇指按住管口,取出试管,放开拇指,将带有火星的木条伸入试管内会复燃

(6) 溶液呈红色,白色沉淀溶解(或大部分溶解)

诠释 本题由教材电解水实验延伸、整合的综合实验.可以进一步拓展:电解氯化镁、硫酸铜、氯化铝等盐溶液.其难点是检验氢气、氧气操作的表述,这类问题往往易失分.

三、以物质相对原子质量测定为探究点,考查装置连接、实验数据测定以及数据处理

例 3 根据氨气还原氧化铜的反应,可设计测定铜元素相对原子质量(近似值)的实验.先称量反应物氧化铜的质量 $m(CuO)$,反应完全后测定生成

物水的质量 $m(H_2O)$,由此计算.为此提供的实验仪器(如图 3)及试剂如下(根据需要可重复选用,加入的 NH_4Cl 与 $Ca(OH)_2$ 的量足以产生使 CuO 完全还原的氨气):

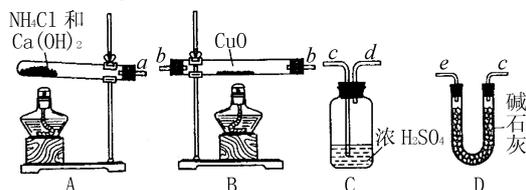


图 3

请回答 下列问题:

(1) 氨气还原炽热氧化铜的化学反应方程式为 _____;

(2) 从所提供的仪器及试剂中选择并组装本实验的一套合理、简单的装置,按气流方向的连接顺序为(用图中标注的导管口符号表示) $a \rightarrow$ _____;

(3) 在本实验中,若测得 $m(CuO) = a \text{ g}$, $m(H_2O) = b \text{ g}$, 则 $A_r(Cu) =$ _____;

(4) 在本实验中,使测定结果 $A_r(Cu)$ 偏大的是 _____(填序号);

① CuO 未完全起反应 ② CuO 不干燥

③ CuO 中混有不反应的杂质

④ 碱石灰不干燥

⑤ NH_4Cl 与 $Ca(OH)_2$ 混合物不干燥

(5) 在本实验中,还可通过测定 _____ 和 _____, 或 _____ 和 _____ 达到实验目的.

解析 本题以测定金属铜相对原子质量为探究点,选择仪器组合装置,确定测定物理量.

(1) 氨气氧化铜反应生成铜、氨气和水

(2) 氨气还原氧化铜的思路为制备氨气 \rightarrow 干燥氨气 \rightarrow 氨气还原氧化铜 \rightarrow 吸收水,即 $A \rightarrow D \rightarrow B \rightarrow D$.测定水的质量,只能选碱石灰吸收水蒸汽,不能用浓硫酸,因为浓硫酸能吸收水蒸汽和氨气

(3) $3CuO + 2NH_3 \xrightarrow{\Delta} N_2 + 3H_2O + 3Cu$, $\frac{M_r(Cu) + 16}{18} = \frac{a \text{ g}}{b \text{ g}}, M_r(Cu) = \frac{18a}{b} - 16$

(4) 根据铜的计算公式知,测得水的质量偏小,铜的相对原子质量偏大 ①氧化铜未完全反应,水的质量偏小; ②氧化铜不干燥,测得水质量偏大; ③氧化铜中混有不反应的杂质,测得水的质量偏小; ④碱石灰不干燥,测得水质量偏大; ⑤反应物不干燥,测得水偏大.

(5) 依据仪器,只能用重量法测定铜的相对原子质量.根据化学方程式知,测得 $m(CuO)$ 、 $m(Cu)$

或 $m(\text{Cu})$ 、 $m(\text{H}_2\text{O})$ 质量,可以计算铜的相对原子质量,因为仪器已确认,不能测定氮气体积. 氮气只能部分反应,不能测定反应的氮气体积.

答案: (1) $2\text{NH}_3 + 3\text{CuO} \xrightarrow{\Delta} 3\text{Cu} + \text{N}_2 + 3\text{H}_2\text{O}$

(2) $a \rightarrow e \rightarrow b \rightarrow e$ (3) $M_r(\text{Cu}) = \frac{18a}{b} - 16$

(4) ①③

(5) $m(\text{CuO})$ 和 $m(\text{Cu})$; $m(\text{Cu})$ 和 $m(\text{H}_2\text{O})$

诠释 探究金属相对原子质量测定,首先确保实验原理正确,其次减少实验误差;第三,确定所要测定的物理量. 本题易错点有(1)错选 C 装置吸收水,氮气与氧化铜反应,氮气不能完全反应,故 C 装置吸收有氮气,使测得水蒸汽质量偏高,测得铜的相对原子质量偏低;(2)通过测定氮气体积、氮气体积进而测定铜的相对原子质量. 实际上,氮气参加反应的体积无法测定,而根据已知的仪器无法测定氮气体积.

四、以反应条件为探究点,考查实验本质分析、异常现象、解释以及观察数据信息找规律

例 4 某同学在用稀硫酸与锌制取氢气的实验中,发现加入少量硫酸铜溶液可加快氢气的生成速率. 请回答下列问题:

(1) 上述实验中发生反应的化学方程式有 _____;

(2) 硫酸铜溶液可以加快氢气生成速率的原因是 _____;

(3) 实验室中现有 Na_2SO_4 、 MgSO_4 、 Ag_2SO_4 、 K_2SO_4 等 4 中溶液,可与实验中 CuSO_4 溶液起相似作用的是 _____;

(4) 要加快上述实验中气体产生的速率,还可采取的措施有 _____ (答两种);

(5) 为了进一步研究硫酸铜的量对氢气生成速率的影响,该同学设计了如下系列实验. 将表中所给的混合溶液分别加入到 6 个盛有过量 Zn 粒的反应瓶中,收集产生的气体,记录获得相同体积的气体所需时间.

实验 混合溶液	A	B	C	D	E	F
$4 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$ 硫酸溶液/mL	30	V_1	V_2	V_3	V_4	V_5
饱和硫酸铜溶液/mL	0	0.5	2.5	5	V_6	20
H_2O /mL	V_7	V_8	V_9	V_{10}	10	0

① 请完成此实验设计,其中: $V_1 =$ _____, $V_6 =$ _____, $V_9 =$ _____;

② 反应一段时间后,实验 A 中的金属呈 _____ 色,实验 E 中的金属呈 _____ 色;

③ 该同学最后得出的结论为:当加入少量 CuSO_4 溶液时,生成氢气的速率会大大提高. 但当加入

的 CuSO_4 溶液超过一定量时,生成氢气的速率反而会下降. 请分析氢气生成速率下降的主要原因 _____.

解析 本题以影响化学反应速率因素为探究点,探究提高金属与酸反应速率的外界条件.(1)发生的化学反应有锌与稀硫酸、硫酸铜溶液反应;(2)从原电池角度分析,形成原电池后,会加快负极失去电子;(3)要构成原电池,必须选一种没有铜活泼的金属,硫酸银与锌反应生成银附在锌表面,在溶液中构成原电池,能加快锌失去电子,产生氢气速率加快;(4)从影响化学反应速率因素角度考虑,如温度、浓度、固液接触面等;(5)探究对照实验,要控制变量,只改变硫酸铜溶液用量,为了便于控制 H^+ 浓度,必须加水使溶液总体积相等,确保 H^+ 浓度相等,所用稀硫酸的体积相同(30 mL). ①根据 F 组实验知,不加水时,饱和硫酸铜溶液体积为 20 mL,稀硫酸体积为 30 mL,溶液总体积近似 50 mL. $V_1 = V_2 = V_3 = V_4 = V_5 = 30 \text{ mL}$; $V_6 = 10 \text{ mL}$, $V_7 = 20 \text{ mL}$, $V_8 = 19.5 \text{ mL}$, $V_9 = 17.5 \text{ mL}$, $V_{10} = 15 \text{ mL}$. ②A 组实验中,没有加入饱和硫酸铜溶液,金属呈银白色;实验 E 中加入了硫酸铜溶液,产生铜覆盖在锌粒表面,呈红色;③硫酸铜过多,产生的铜覆盖在锌粒表面,阻止锌与 H^+ 接触,使反应减慢.

答案: (1) $\text{Zn} + \text{H}_2\text{SO}_4 = \text{ZnSO}_4 + \text{H}_2 \uparrow$

$\text{CuSO}_4 + \text{Zn} = \text{ZnSO}_4 + \text{Cu}$

(2) 氧化性: $\text{Cu}^{2+} > \text{H}^+$, 硫酸铜与锌优先反应生成铜覆盖在锌粒表面,在稀硫酸溶液中,锌与铜构成原电池的两极,加快了锌失去电子,使产生氢气速率加快.

(3) 硫酸银.

(4) 加热、将锌粒粉碎、适当增加稀硫酸浓度等.

(5) ① $V_1 = 30$ 、 $V_6 = 10$ 、 $V_9 = 17.5$

② 银白色 红色或紫红色

③ 硫酸铜溶液量较大时,产生较多的铜覆盖在锌粒表面,阻碍锌与稀硫酸接触,使产生氢气速率减慢.

诠释 探究影响化学反应速率因素,可以分内因和外因两部分. 影响化学反应速率的内因主要是物质组成、结构、性质;外因主要是温度、酸碱度、浓度、接触面、催化剂、压强(气体反应)等,通常采用控制变量法探究一个因素对化学反应速率的影响. 本题亮点有:一是设计对照实验,需要理解“探究硫酸铜溶液量对反应速率影响”,引发“控制哪些变量”,如何使其它变量相同等问题;二是将形成原电池与影响固体与液体接触面联系起来,即深化实验细节. 中学实验锌与稀硫酸反应,加“少量硫酸铜”能加快反应速率,本题深刻探究“少量”含义.

五、以实验方案为探究点,考查实验现象观察和分析实验结论

例5 某兴趣小组用如图4所示装置探究氨的催化氧化.

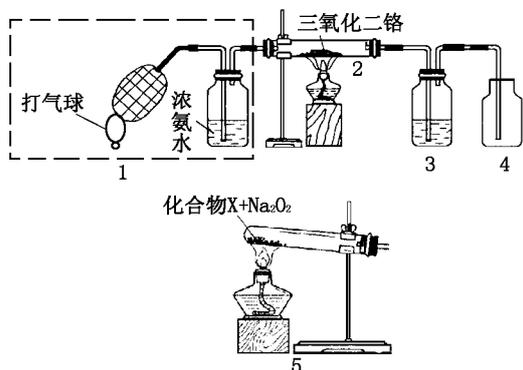
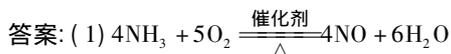


图4

- (1) 氨催化氧化的化学方程式为_____.
- (2) 加热玻璃管2一段时间后,挤压1中打气球鼓入空气,观察到2中物质呈红热状态;停止加热后仍能保持红热,该反应是_____反应(填“吸热”或“放热”).
- (3) 为保证在装置4中观察到红棕色气体,装置3应装入_____;若取消3,在4中仅观察到大量白烟,原因是_____.
- (4) 为实现氨催化氧化,也可用装置5替换装置_____(填装置代号);化合物X为_____(只写一种), Na_2O_2 的作用是_____.

解析 本题以实验方案变换为探究点,通过2-3-4仪器连接和2-4仪器连接,以及5替代仪器1等,多角度探究氮氢化物、氮化物、盐之间转化关系.(1) NH_3 和 O_2 氧化生成 NO . (2) 该反应为放热,故不加热后仍能保持红热状态.(3) 反应后气体中有 NO 和 NH_3 , NO 会被 O_2 氧化生成 NO_2 , 再与空气中的水蒸气反应生成 HNO_3 , 而 HNO_3 与 NH_3 会产生白烟. 装置3的作用是除去 NO 中氨气,用浓硫酸吸收氨气.(4) 装置5与装置1均产生 NH_3 , NH_4Cl 加热分解可得 NH_3 和 HCl , 而 HCl 与 Na_2O_2 可生成 O_2 . 也可以是碳酸氢铵,碳酸氢铵分解生成氨气、水蒸汽、二氧化碳,而水蒸汽、二氧化碳被过氧化钠吸收放出氧气.



- (2) 放热
- (3) 浓 H_2SO_4 ; 生成的 NO 与 O_2 反应生成 NO_2 , NO_2 与水反应生成 HNO_3 , NH_3 与 HNO_3 反应生成了

NH_4NO_3

(4) 1. NH_4Cl 与 HCl 反应生成氨气(或碳酸氢铵吸收二氧化碳、水蒸汽放出氧气)

诠释 以实验方案为探究点,主要探究角度有:(1) 减一减:即减少仪器对实验影响;(2) 增一增:即增加某仪器;(3) 换一换:一般用简单仪器替换复杂的仪器;(4) 调一调:主要指调换仪器顺序,探究对实验影响. 本题氨催化氧化一般用铂作催化剂,本题用三氧化二铬作催化剂,说明同一反应可以用多种催化剂,如氯酸钾分解可以用二氧化锰、氧化铁、氧化铜等作催化剂;本题X成分具有开放性和探究性.

六、以物质制备为探究点,考查仪器、试剂选择以及误差分析

例6 CaCO_3 广泛存在于自然界,是一种重要的化工原料.大理石主要成分为 CaCO_3 , 另外有少量的含硫化合物.实验室用大理石和稀盐酸反应制备 CO_2 气体.图5所示装置可用于 CO_2 气体的提纯和干燥.

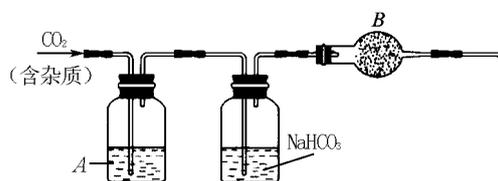


图5

完成下列填空:

- (1) 用浓盐酸配制 1:1 (体积比) 的稀盐酸(约 $6 \text{ mol} \cdot \text{L}^{-1}$) 应选用的仪器是_____.
a. 烧杯 b. 玻璃棒 c. 量筒 d. 容量瓶
- (2) 上述装置中 A 是_____溶液, NaHCO_3 溶液可以吸收_____.
- (3) 上述装置中 B 物质是_____. 用这个实验得到的气体测定 CO_2 的相对分子质量,如果 B 物质失效,测定结果_____(填“偏高”、“偏低”或“不受影响”).
- (4) 一次性饭盒中石蜡(高级烷烃)和 CaCO_3 在食物中的溶出量是评价饭盒质量的指标之一,测定溶出量的主要实验步骤设计如下:剪碎、称重→浸泡溶解→过滤→残渣烘干→冷却、称重→恒重
为了将石蜡和碳酸钙溶出,应选用的试剂是_____.
a. 氯化钠溶液 b. 稀醋酸
c. 稀硫酸 d. 正己烷
- (5) 在溶出量测定实验中,为了获得石蜡和

离子方程式的判断与书写策略

黑龙江省海林林业一中 (157100) 厉广新

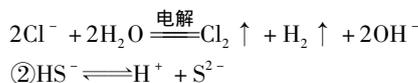
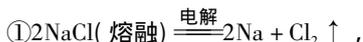
离子反应是高考的重点和热点,它不仅表示一个离子反应,还表示同一类型的化学反应.离子反应的实质是离子浓度总是向减小的方向进行,离子方程式是离子反应的具体表达形式,也是化学用语的考查方式之一.下面就离子方程式的判断与书写谈谈备考经验.

一、考查离子方程的正误判断与推理分析

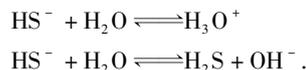
多年来高考考查离子方程式,主要考查学生对知识的理解和应用能力,判断一个离子方程式是否正确,应从以下两方面分析:

1. 判断能否写成离子方程式;判断物质能否改写成离子形式;判断是否依据化学反应原理,例如:

- (1) 实验室用固体氯化铵和熟石灰制取氨气就不能写成离子方程式.
- (2) 氯化钠和硝酸钾两溶液混合不发生离子反应.
- (3) 单质铁参加置换反应一律铁元素显正二价.
- (4) 弱酸、弱碱、单质、氧化物、难溶物、难电离、浓硫酸、石灰乳等在离子方程式中都不能改写成离子形式.
- (5) 区分电离、电解、水解等离子方程式的形式:



又可写成



2. 根据近年来离子方程式的考查热点注重以下十方面备考策略.

(1) 考查离子反应的类推策略

已知少量 CO_2 通入 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液中反应可写成 $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}^{2+} + 2\text{ClO}^- = \text{CaCO}_3 \downarrow + 2\text{HClO}$, 则少量 SO_2 通入 $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ 溶液时反应不可写成 $\text{SO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Ca}^{2+} + 2\text{ClO}^- = \text{CaSO}_3 \downarrow + 2\text{HClO}$, 因 HClO 具有氧化性能将 CaSO_3 氧化成 CaSO_4 .

(2) 考查电离与溶解的区别

$\text{BaSO}_4(\text{熔融}) = \text{Ba}^{2+} + \text{SO}_4^{2-}$ 为电离方程式,
 $\text{BaSO}_4(\text{s}) \rightleftharpoons \text{Ba}^{2+}(\text{aq}) + \text{SO}_4^{2-}(\text{aq})$ 为溶解平衡式.

(3) 考查三项守恒即原子、电荷、电子转移守恒

酸性 KMnO_4 溶液与 H_2O_2 反应 $2\text{MnO}_4^- + 6\text{H}^+ + 3\text{H}_2\text{O}_2 = 2\text{Mn}^{2+} + 4\text{O}_2 \uparrow + 6\text{H}_2\text{O}$, 该离子方程式电子转移不守恒 $2\text{MnO}_4^- \rightarrow 2\text{Mn}^{2+}$, 得到 10e^- ,

▶ 碳酸钙的最大溶出量,应先溶出____后溶出____.

(6) 上述测定实验中,连续____,说明样品已经恒重.

解析 本题考查二氧化碳制备、净化等相关问题. (1) 配制近似浓度的溶液,不用容量瓶.只需要量溶液体积和水体积.所以,需要仪器有烧瓶、玻璃棒和量筒; (2) 依题意,石灰石中含有少量硫化物,与盐酸反应生成硫化氢等, A 装置里溶液用于除去硫化氢,可以用酸性高锰酸钾溶液或硫酸铜溶液或溴水等.碳酸氢钠溶液吸收盐酸挥发出来的氯化氢等酸性气体. (3) B 装置物质用于干燥二氧化碳,如氯化钙、五氧化二磷等中性或酸性干燥剂.如果干燥剂失效,得到二氧化碳气体中混有水蒸汽, $M_r(\text{H}_2\text{O}) < M_r(\text{CO}_2)$ 测得相对分子质量小于 44. (4) 石蜡是烷烃,能溶于液态正己烷,碳酸钙溶于醋酸,不能用硫酸溶解碳酸钙,因为硫酸与碳酸钙反应生成微溶硫酸钙. (5) 因为石蜡附在碳酸钙表面会

阻止碳酸钙与醋酸接触,所以,应先溶出石蜡,后溶出碳酸钙. (6) 精确度高的重量法实验中,连续两次称质量差不超过 0.001 g,表明样品已恒重. 本实验称量应用电子天平,不是托盘天平.

答案: (1) a b c (2) CuSO_4 溶液或酸性 KMnO_4 溶液; 吸收 HCl 气体或吸收酸性气体 (3) 无水 CaCl_2 偏低 (4) b d (5) 石蜡 (6) 两次称量的结果相差不超过(或小于) 0.001 g

诠释 探究物质制备的角度: (1) 实验原理多样性,制备同一物质可以选择不同实验原理; (2) 实验装置多样性,实验装置由反应原理决定; (3) 仪器选择多样性,多种仪器可以达到同一目的,当然尽可能用简单仪器代替复杂仪器,选择多功能仪器完成实验. 气体实验装置一般流程: 发生装置、净化装置、干燥装置、收集装置、尾气处理装置(或主反应装置产品收集装置 尾气处理装置)等.

(收稿日期: 2015-02-02)